

明 細 書

エ ッ チ ン グ 方 法

発明の背景および関連技術の説明

本発明は、ポリシリコン膜等の薄膜をエッチングするためのエッチング方法に関する。

一般に、半導体集積回路やＬＣＤ基板等を製造するためには、半導体ウエハやガラス基板等の基板に対して、成膜とパターンエッチング等を繰り返し行なって、多数の所望の素子を形成するようになっている。

そして、そのような多数の素子の中でも、例えばＭＯＳＦＥＴ（Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor）を製造する場合には、このＭＯＳＦＥＴのゲート電極であるポリシリコン膜のエッチング工程は非常に重要となる。その理由は、このＭＯＳＦＥＴのゲート電極長は、素子自体の電気的特性を決定する上で重要な要素となるからである。そのために、このエッチング工程ではゲート電極長を基板全面に亘って正確にエッチングしなければならず、非常に精度の高い加工と加工均一性が要求される。

このポリシリコンのエッチングプロセスは、従来の平行平板型のプラズマエッチング装置ではプロセス圧が高過ぎてエッチングの面内均一性を十分に高く維持できないことから、数ｍＴｏｒｒ台の低いプロセス圧を実現することができる誘導結合型のプラズマ処理装置が主として用いられている。

図９は上述したような従来の一般的な誘導結合型のプラズマ処理装置を示す模式図である。このプラズマ処理装置は、略円筒体状の処理容器２を有し、この内部が反応室内となる。この処理容器２の内部に半導体ウエハＷを載置するための載置台４を設けている。処理容器２内の雰囲気は、載置台４の周囲に沿って容器

底部に設けた環状の排気口6から真空排気される。

処理容器2の天井部には、これよりも直径の小さなプラズマ形成容器8が下方と連通させて設けられており、内部にプラズマ形成室を形成している。このプラズマ形成容器8には、例えば13、56MHzの高周波電源10に接続された誘導コイル12が巻回されている。

そして、プラズマ形成容器8の天井部に設けたガス導入部14から導入されたエッチングガス、例えば塩素(Cl_2)ガスは、誘導コイル12により発生される電磁界により解離されてプラズマ状態となり、このプラズマにより塩素分子或いは原子が活性化されて活性種を生成する。この時の塩素ガスの供給量は、例えば反応室の容量59リットルに対して125sccm程度である。この活性種は、プラズマ形成室から流下して処理容器2の反応室内へ流れ込む。この際、活性種はプラズマ形成室の出口に設けた傘状の整流板16によって案内されつつ拡散されて、ウエハ表面上に略均等に流下し、ウエハ表面の例えばポリシリコン膜をエッチングすることになる。

ところで、数mTorr程度の低圧下でプラズマ形成容器8内から処理容器2内へ流下するガス或いは活性種の挙動、或いは流れ方は非常に複雑であり、従来このような低圧下ではガス或いは活性種は主として拡散により拡がり、ウエハ表面上に略均一に流下するものと考えられていた。

しかしながら、上述したような方法では、ウエハ中心部と周辺部との間でエッチングレートにかなり差があり、エッチングの面内均一性が劣化する場合があった。それでも、6インチ、8インチサイズのウエハの場合には、このエッチングの不均一性がそれ程問題とはならなかったが、ウエハサイズが12インチ(30cm)になって大型化すると、このエッチングの不均一性がかなり大きくなり、所望する面内均一性が得られなくなるという問題があった。

発明の目的および概要

本発明は、以上のような問題点に着目し、これを有効に解決すべく創案されたものである。本発明の目的は、エッチングレートの面内均一性を大幅に改善することができるエッチング方法を提供することにある。

本発明者は、エッチングガスや活性種の流れについて、ガス供給種を種々人幅に変更してシミュレーションを行なった結果、ガス供給量を多くすると、拡散によるウエハ周縁部への流束は大きくは変化しないが、流れによるウエハ周縁部への流束は大きく変化して全体的にエッチングレートの面内均一性を向上させることができる、という知見を得ることにより、本発明に至ったものである。

本発明によるエッチング方法は、上記問題点を解決するために、プラズマ形成室にガス導入部からエッチングガスを導入する工程と、前記プラズマ形成室において、高周波により前記エッチングガスをプラズマ化することにより活性種を形成する工程と、前記プラズマ形成室に連結され真空引きされた反応室において、前記プラズマ形成室から流下する前記活性種により被処理体にエッチング処理を施す工程とを備え、前記エッチングガスを導入する工程において、導入される前記エッチングガスの流量が、前記反応室の実質的な容量の1リットルに対して8.4 s c c m以上となるようにしたものである。

以上のように、導入されるエッチングガスの流量を、反応室の実質的な容量の1リットルに対して8.4 s c c m以上とすることにより、エッチングレートのみならず、エッチングの面内均一性も向上させることが可能となる。

上記エッチング方法の活性種を形成する工程において、誘導コイルを用いた誘導結合によって、上記エッチングガスをプラズマ化するようにすることができる。また、上記エッチングガスとして例えば塩素ガスをを用い、これにより上記エッチング処理を施す工程において、上記被処理体に形成されたポリシリコン膜をエッチングすることができる。

図面の簡単な説明

図1は、本発明によるエッチング装置の一実施形態を示す概略構成図、

図2は、図1に示すエッチング装置におけるエッチング時のエッチングガスの反応を示す図、

図3は、エッチングガスの流量を種々変更した時のエッチングレートの変化を示すグラフ、

図4 A乃至図4 Cは、反応室内のCl濃度を3次元的に示すグラフ、

図5は、エッチングガスの流量と全圧および各ガスの分圧との関係を示す表、

図6 A乃至図6 Cは、反応室内のSiCl₂濃度を3次元的に示すグラフ、

図7 A及び図7 Bは、ウェハ周辺部におけるエッチャントの流速分布を示す図、

図8 A及び図8 Bは、ウェハ周辺部におけるエッチャントの流速分布を示す図、

図9は、従来の一般的な誘導結合型のエッチング装置を示す模式図である。

発明の好適実施形態の詳細な説明

以下に、本発明に係るエッチング方法および装置の一実施形態を添付図面に基づいて詳述する。図1は本発明方法を実施するために用いるプラズマ処理装置を示す概略構成図、図2はエッチング時のエッチングガスの反応を示す図、図3はエッチングガスの流量を種々変更した時のエッチングレートの変化を示すグラフである。

図示するように、このプラズマ処理装置18は、例えばアルミニウム等よりなる略円筒体状の処理容器20を有しており、この内部空間が反応室22として形成される、この処理容器20内には、被処理体である例えば半導体ウェハWを載置するための例えば金属や絶縁体製の円形の載置台24が設置されている。尚、載置台24にウェハ温度をコントロールする抵抗ヒータ及びイオンを引き込むための電極等を設けるようにしてもよい。そして、この載置台24を開閉ようにして処理容器20の底部には、円環状の排気口26が設けられており、この排気口

26には途中に真空ポンプ28を介設した真空排気系30が接続されており、処理容器20内を真空引きできるようになっている。また、処理容器20の側壁には、ウェハWの搬入搬出時に開閉されるゲートバルブ32が設けられる。尚、載置台24には、これを気密に貫通してウェハWの搬入搬出時に下方より昇降する図示しないリフトピンが設けられる。

そして、処理容器20の天井部32の中央には、開口34が形成されており、この開口34には、例えば石英により略円筒体状に成形されたプラズマ形成容器36がシール部材38を介して気密に取り付け固定されており、プラズマ形成容器36内にプラズマ形成室40を構成している。従って、プラズマ形成室40は、開口34を介してこれよりも大きな直径である反応室22に連通される。

上記プラズマ形成容器36の天井部には、ガス導入部としてシャワーヘッド部42が設けられており、このシャワーヘッド部42の下面に形成した複数のガス噴射孔44からプラズマ形成室40内に向けて、例えば塩素ガス(Cl_2)よりなるエッチングガスを供給できるようになっている。

また、このプラズマ形成容器36の外周には、誘導コイル46が所定の数だけ巻回されており、この誘導コイル46には、例えば13.56MHzの高周波電源48が接続されている。そして、この誘導コイル46に13.56MHzの高周波を流すことによって、プラズマ形成室40内において誘導結合によりエッチングガスをプラズマ化して活性種を形成し得るようになっている。

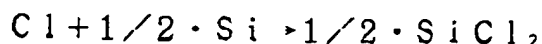
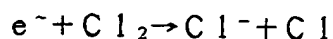
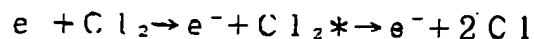
ここで各部の寸法は、例えば12インチ(30cm)サイズのウェハWをエッチング処理する場合には、載置台24の直径L1は400mm程度、処理容器20内の天井部32と載置台24との間の距離L2は300mm程度、処理容器20内(反応室22)の直径L3は500mm程度、プラズマ形成容器36(プラズマ形成室40)内の直径L4は200mm程度、プラズマ形成室40の高さL5は200mm程度、載置台24の厚さL6は50mm程度にそれぞれ設定され

ている。従って、反応室22の実質的な容量は、59リットル(=π×250mm×250mm×300mm)程度となる。

次に、以上のように構成されたエッチング装置を用いて行なわれるエッチングについて説明する。まず、開閉可能なゲートバルブ32を介して処理容器20内へ搬入されたウエハWは、載置台24上に載置され、容器20内を密閉した後に処理が開始される。プラズマ形成容器36の天井部に設けたシャワーヘッド部42からは、エッチングガスとしての塩素ガスが所定の流量でプラズマ形成室40内へ導入され、ここで誘導コイル46により発生される電磁界によってエッチングガスがプラズマ化され、このプラズマにより塩素原子や塩素分子の活性種が生成される。

このエッチングガスや活性種は、プラズマ形成室40からこの下方のより広い反応室22内へ拡散しながら流れ込み、反応室22内を流下しながらウエハ表面上に到達してウエハWの表面の例えばポリシリコン膜をエッチングすることになる。そして、エッチング処理済みのガスは、ウエハWの周辺部へ流れて行き、載置台24を囲むようにして環状に設けた排気口26から流出して真空排気系30により排出される。

ここで、図2にも示すように、塩素ガスは下記式に従って電子 e^- によって活性化されてシリコンと反応すると考えられる。



ここで上記式中のマーク*は電子励起状態であることを示す。

そして、本発明においては、プロセス圧力を例えば5～10mTorr程度の範囲内で一定としてエッチングガスの供給量を500sccm以上に設定する。従来は、ここに記載したような反応室22の実質的な容量が59リットル程度の

場合には、エッチングガスの流量は125 sccm程度であるが、本発明では、上述のように、これよりも遥かに多い500 sccm以上の流量でエッチングガスを供給する。この流量は、反応室22の実質的な容量の1リットルに対して8.4 sccm以上の流量となる。このような多量のエッチングガスを供給することにより、全体としてのエッチングレートを向上させることができるのみならず、エッチングの面内均一性も向上させることが可能となる。

図3は、前述した装置例において、エッチングガスの供給量を150 sccm～1000 sccmまで種々変更した時におけるウェハ表面上のエッチングレートの分布を示すグラフである。この時のプロセス圧力は略5mTorrとなるように一定に維持している。

横軸は、ウェハの半径rWとウェハの中心からの半径方向長さrとの比を表している。このグラフから明らかなように、エッチングガスの流量に関係なく、ウェハ中心と比較してウェハ周辺部においてはエッチングレートが急激に上昇している。しかしながら、エッチングガスの供給量が125 sccm, 250 sccmの場合には、ウェハ中央部から中周部におけるエッチングレートの変動量がある程度以上大きく、しかも、ウェハ周辺部におけるエッチングレートの上昇量もかなり大きくなって、全体としてエッチングレートの面内均一性があまり良好ではない。

これに対して、エッチングガスの供給量が500 sccm, 1000 sccmの場合には、ウェハ中央部から中周部におけるエッチングレートの変動量は非常に少なく実質的には略ゼロであり、また、ウェハ周辺部におけるエッチングレートの上昇量は、供給量が125 sccmや250 sccmの場合と比較してそれ程多くない、

従って、エッチングガスの供給量を500 sccm以上(8.4 sccm以上/反応室の実質的な容量の1リットル)とすることにより、エッチングの面内均

一性を大幅に向上できることが判明する。尚、この場合、プロセス圧力は、プラズマが立ち得る数mTorr以下の圧力であれば上述した流量を適用し得る。

ここで上記した結果についてDSMC (Direct Simulation Monte Carlo) 法を用いてエッチングガスや反応生成物の流れ場の解析をシミュレーションによって検証したので、その点について説明する。

図4は、反応室内のCl濃度を3次元的に示すグラフであり、グラフ中においてrはウェハ中心に対応する載置台24下面上の点O (図1および図2参照) から半径方向への距離を示し、Zは点Oから高さ方向への距離を示している。また、縦軸は塩素濃度 (密度場) を示す。従って、シャワーヘッド部42はZ=0.5mの位置に設定されていることになる。

塩素ガスに関しては、図4Aは1000sccmの流量であり、図4Bは250sccmの流量であり、図4Cは125sccmの流量である。図中の矢印はガスの流れ方向を示している。また、この時の各ガスの分圧及び全圧を図5に示す。尚、図5中には流量が500sccmの場合も示す。

図4のグラフから明らかなように、塩素原子の拡散によるウェハへの数流束は、密度勾配に比例し、エッチングガス流量を125sccmから1000sccmへ増加する程、大きくなることが判明する。これが、エッチングレートがエッチングガス流量の増加と共に増加する理由である。しかしながら、図5を参照すると、圧力を測定している点での塩素原子の分圧は、エッチングガスの流量に依存しないで略一定であるので、これだけではエッチングレートがエッチングガス流量によって大きく変化していること全てを説明していることにならない。

また、図4において、ウェハがない部分での塩素原子の密度が高いことが分かる。これにより、ウェハがない部分から塩素原子がウェハの周辺部へ拡散するので、ウェハ周辺部でのエッチングレートが大きくなる理由が理解できる。しかしながら、エッチングガスの流量を変えてもウェハとウェハのない部分との間の境

界位置で密度勾配は大きく変化していないので、拡散による流束がエッチングレートに大きく寄与するとは考えることができない。

次に、反応副生成物である SiCl_2 の密度場について検討する。図6は反応室内の SiCl_2 濃度を3次的に示すグラフであり、各軸の関係は図4の場合と同じである。塩素ガスに関しては、図6Aは1000 sccmの流量であり、図6Bは250 sccmの流量であり、図6Cは125 sccmの流量である。尚、図6においては、図4の場合に対してr軸方向およびZ軸方向が逆になっている点に注意されたい。

この図6のグラフから明らかなように、各回においてウエハ表面が SiCl_2 の薄い層に覆われているのが分かり、エッチングガスの流量が 125 sccm から 1000 sccm に向けて増すと、その SiCl_2 の薄い層が次第に薄くなり、反応室内の SiCl_2 の量も減少することが判明する。この SiCl_2 の層が薄くなると、エッチャントである塩素原子は、ウエハ表面に到達し易くなる。言い換えれば、エッチングガスの供給量が多くなると、エッチャントのウエハ表面への供給が多くなり、エッチングが推進される。

また、Z軸方向がウエハの位置で、r軸方向がウエハがない部分に対応する位置での SiCl_2 の密度勾配は、エッチングガスの流量が大きい程きつくなる。これは、流量が大きいときに、 SiCl_2 を周辺部分で速やかに排気し、周辺部分でエッチングレートが大きくなる原因であると考えられる。

次に、エッチングガスの流れ場について考察する。図7及び図8はウェハ周辺部におけるエッチャントの流速分布を示しており、図7Aはエッチングガスの流量が1000 sccmの場合、図7Bはエッチングガスの流量が500 sccmの場合、図8Aはエッチングガスの流量が250 sccmの場合、図8Bはエッチングガスの流量が125 sccmの場合である。この図から明らかなように、大流量になれば、エッチャントである塩素原子Clの流れが強くなる。これが、

エッチングガスの流量の増加と共にエッチングレートが増加するもう1つの理由である。

また、図7 Aに示すようにエッチングガスが大流量の場合には、エッチャントの流れの岐点がウエハの周辺部近くにあるが、図7 B、図8 A、図8 Bに示すようにエッチングガスが次第に小流量になるに従って、エッチャントの流れの岐点はウエハの外側方向に向かって移って行き、図8 Bに示す125 sccmの時には、岐点はウエハの略外側に位置する。これがウエハ中央部側へ強い流れを誘起して小流量の条件下で、ウエハ端近傍においてエッチングレートが広く上がってしまう原因となっていることが判明する。従って、図7 A及び図7 Bに示すように大流量の条件下ならば、ウエハ端近傍においてエッチングレートの上昇を抑制することができ、これがためにエッチングレートの面内均一性を向上させることができる点が判明する。

尚、本実施形態においては、ICP（誘導結合プラズマ）式のエッチング装置を用いて説明したが、これに限定されず、容量結合プラズマ（CCP）式のエッチング装置、サイクロトロン共鳴（ECR）式のプラズマ装置等にも適用できるのは勿論である。

また、エッチングガスとしては塩素ガスに限定されず、例えばCIF系ガス等も用いることができる。また、被処理体としては、半導体ウエハに限定されず、ガラス基板、LCD基板等にも適用できるのは勿論である。

請 求 の 範 囲

1. プラズマ形成室にガス導入部からエッチングガスを導入する工程と、
前記プラズマ形成室において、高周波により前記エッチングガスをプラズマ化することにより活性種を形成する工程と、
前記プラズマ形成室に連結され真空引きされた反応室において、前記プラズマ形成室から流下する前記活性種により被処理体にエッチング処理を施す工程とを備え、
前記エッチングガスを導入する工程において、導入される前記エッチングガスの流量が、前記反応室の実質的な容量の1リットルに対して8.4 s c c m以上となるようにしたことを特徴とするエッチング方法。
2. 前記活性種を形成する工程において、誘導コイルを用いた誘導結合によって、前記エッチングガスをプラズマ化することを特徴とする請求項1記載のエッチング方法。
3. 前記エッチングガスは塩素ガスよりなり、前記エッチング処理を施す工程において、前記被処理体に形成されたポリシリコン膜をエッチングすることを特徴とする請求項1記載のエッチング方法。

